

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Februar 2003 (20.02.2003)

PCT

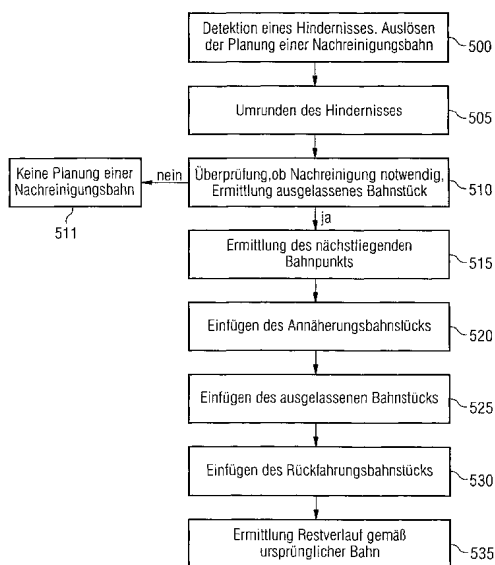
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/014852 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G05D 1/02 (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/02851 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HERZ, Torsten
(22) Internationales Anmeldedatum: 2. August 2002 (02.08.2002) [DE/DE]; Ermreuser Str. 2, 91090 Effeltrich (DE).
FIEGERT, Michael [DE/DE]; Therese-Giehse-Allee 86, 81739 München (DE).
(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität: 101 38 259.6 3. August 2001 (03.08.2001) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PROGRAMMING OF AN EXTENDED PATH FOR AN AUTONOMOUS MOBILE UNIT FOR THE SUBSEQUENT TRAVERSING OF PATH SECTIONS THAT ARE TEMPORARILY BLOCKED

(54) Bezeichnung: PLANUNG EINER ERWEITERTEN BAHN FÜR EINE AUTONOME MOBILE EINHEIT ZUM SPÄTEREN AB FAHREN TEMPORÄR VERSPERRTER BAHNBEREICHE



500 DETECTION OF AN OBSTACLE. INITIATION OF
PROGRAMMING OF SUBSEQUENT CLEANING PATH
505 CIRCUMVENTION OF OBSTACLE
511 NO PROGRAMMING OF SUBSEQUENT CLEANING PATH
NEIN = NO
510 VERIFICATION OF NECESSITY OF SUBSEQUENT
CLEANING
DETERMINATION OF OMITTED PATH SECTION
JA = YES
515 DETERMINATION OF NEAREST PATH POINT
520 INTEGRATION OF APPROACH PATH SECTION
525 INTEGRATION OF OMITTED PATH SECTION
530 INTEGRATION OF RETURN PATH SECTION
535 DETERMINATION OF REMAINING COURSE ACCORDING TO
ORIGINAL PATH

(57) Abstract: The invention relates to the programming of an extended path for an autonomous mobile unit, in which a sub-section of a predefined path, which temporarily cannot be traversed by an autonomous mobile unit, is determined. To programme a path that subsequently traverses the temporarily blocked sub-section, a first path point of the predefined path is determined using at least one predefinable distance criterion, which takes into consideration the distance of the sub-section from the first path point. An extension sub-section, which begins at the first path point, terminates at the second path point of the predefined path and encompasses at least the temporarily blocked sub-section, is determined. The extended path is programmed, said extension sub-section being integrated into the predefined path at the first path point.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit, bei der ein Teilstück einer vorgegebenen Bahn ermittelt wird, welches von der autonomen mobilen Einheit temporär nicht abfahrbar ist. Zur Planung einer Bahn zum späteren Abfahren des temporär versperrten Teilstücks wird ein erster Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten Bahnpunkt berücksichtigt, ermittelt. Ein Erweiterungsteilstück wird ermittelt, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das temporär versperrte Teilstück umfasst. Die erweiterte Bahn wird geplant, wobei das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn eingefügt wird.

WO 03/014852 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht

- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

PLANUNG EINER ERWEITERTEN BAHN FÜR EINE AUTONOME MOBILE EINHEIT ZUM SPÄTEREN AB
FAHREN TEMPORÄR VERSPERRTER BAHNBEREICHE

Verfahren und Anordnung zur Planung einer erweiterten Bahn
für eine autonome mobile Einheit, Computerprogrammerzeugnis
5 und computerlesbares Speichermedium mit einem darauf gespei-
cherten Computerprogramm zur Planung einer erweiterten Bahn
für eine autonome mobile Einheit

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur
10 Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Ein-
heit sowie ein Computerprogrammerzeugnis und ein computerles-
bares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computer-
programmerzeugnis zur Planung einer erweiterten Bahn für eine
autonome mobile Einheit.

15 Immer häufiger werden sich wiederholende Tätigkeiten Service-
robotern übertragen. Beispiele für solche Tätigkeiten sind
Reinigungsaufgaben, Transportaufgaben, das Ausbringen von
Saatgut auf entsprechende Flächen oder beispielsweise das Ra-
20 senmähen.

Bei solchen Servicerobotern, an welchen zugehörige Flächenbe-
arbeitungsgeräte angebracht sind, besteht das Problem, das
dieses Flächenbearbeitungsgerät möglichst den gesamten zur
25 Verfügung stehenden Raum überstreichen soll, wobei möglich
wenig Wege doppelt gefahren werden sollen.

Dabei soll auch der Aufwand für die Planung dieser Bahn so
gering sein, dass wenig Rechenkapazität dafür verwendet wer-
30 den muß. Nur so kann ein akzeptables Zeitverhalten beim Pla-
nungsvorgang sichergestellt werden.

Bei einem Reinigungsroboter, der beispielsweise in einem Su-
permark Reinigungsaufgaben durchführen soll, besteht das zu-
35 sätzliche Problem, dass bei einem Einsatz während der Öff-
nungszeiten des Supermarktes zusätzliche Hindernisse in Form
von Kunden mit Einkaufswagen auftreten.

Für den Fall, dass die Abmessungen des Arbeitsbereiches und die darin vorhandenen Hindernisse in ihrer Lage bekannt sind, kann mit Hilfe eines Vorabbahnplanungsverfahrens eine optimale Bahn geplant werden, deren Abfahren möglichst wenig Zeit kostet und die dabei möglichst viel von der abzufahrenden Fläche berücksichtigt. Nach Durchführung der Vorabplanung und Ermittlung der vorabgeplanten Bahn, beginnt der Serviceroboter diese Bahn abzufahren.

Ein solches Vorabplanungsverfahren ist beispielsweise aus DE 198 04 195 A1 bekannt.

Für den Fall aber, dass Hindernisse kurzzeitig auftreten, zum Beispiel Kunden mit ihren Einkaufswagen, können diese folglich nicht bei der Vorabplanung der Bahn berücksichtigt werden.

In einem solchen Fall stellt der Serviceroboter dieses Hindernis während der Fahrt fest. Der Serviceroboter führt ein Ausweichmanöver durch, d.h. der Serviceroboter verläßt die vorabgeplante Bahn, umrundet das Hindernis und kehrt nach dem Ausweichmanöver wieder auf seine ursprüngliche Bahn zurück.

Eine Planung und eine Durchführung eines solchen Ausweichmanövers ist ebenfalls aus DE 198 04 195 A1 bekannt.

Das Stück der ursprünglichen Bahn, welches durch das Ausweichmanöver nicht abgefahren wurde, bleibt zu diesem Zeitpunkt aber unbearbeitet bzw. ungereinigt und muß zu einem späteren Zeitpunkt nachbearbeitet bzw. nachgereinigt werden.

Für eine Nachbearbeitung solcher nicht bearbeiteten Bahnstücke sind zwei verschiedenen Nachplanungsverfahren bekannt.

Bei dem ersten Nachplanungsverfahren wird das zuvor durchgeführte Vorabplanungsverfahren ein weiteres Mal durchgeführt.

Das bereits abgefahrene und dementsprechend bearbeitete Teilstück der ursprünglichen Bahn wird dabei nicht mehr berücksichtigt, während jedoch das nicht bearbeitete, ausgelassene Teilstück bei der Nachplanung mitberücksichtigt wird.

5

Diese Vorgehensweise weist aber den Nachteil auf, dass für den restlichen, noch zu bearbeiteten Teil der ursprüngliche Bahn durch Mitberücksichtigung des ausgelassen Teilstücks eine komplett neue Bahn ermittelt wird. Diese komplette Neuplanung aber führt zu unnötig langen Planungszeiten und einem großen Bedarf an Rechenleistung.

10

Das zweite bekannte Nachplanungsverfahren sieht in einem solchen Fall vor, dass das nicht bearbeitete Bahnstück am Ende der ursprünglichen Bahn angefügt und nach Beendigung der ursprünglichen Bahn abgefahren wird. Diese Vorgehensweise führt aber zu unnötig verlängerten Bahnen und ist damit ebenfalls ineffizient.

15

Weitere Bahnplanungsverfahren sind aus „Approximation Algorithms for Lawn Mowing and Milling“, Arkin E.M. et al., Angewandte Mathematik und Informatik, Universität zu Köln, Report No. 97.255, 1997 bekannt.

20

Somit liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Bahnplanungsverfahren für eine autonome mobile Einheit anzugeben, dass eine effiziente und flexible Planung einer um eine Ausweichbahn erweiterten Bahn ermöglicht.

25

Das Problem wird durch das Verfahren und die Anordnung zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit sowie durch das entsprechende Computerprogrammerzeugnis und das computerlesbare Speichermedium mit den Merkmalen gemäß dem jeweiligen unabhängigen Patentanspruch gelöst.

30

35

Bei dem Verfahren zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit wird ein Teilstück einer vorgegebenen

Bahn ermittelt, welches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar ist. Ein solches nicht abfahrbares Teilstück kann dann auftreten, falls ein Hindernis die vorgegebene Bahn blockiert.

5

In der Regel ist eine solche Blockade nur vorübergehend, so dass das Teilstück zeitweise nicht abfahrbar ist.

10

Bei dem Verfahren wird im weiteren ein erster Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn ermittelt unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten Bahnpunkt berücksichtigt.

15

Sodann wird ein Erweiterungsteilstück ermittelt, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teilstück umfasst.

20

Bei der Planung der erweiterten Bahn wird das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn eingefügt.

25

Die Anordnung zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit weist eine Bahnplanungseinheit auf, beispielsweise einen Computerprozessor, welcher derart eingerichtet ist zur Durchführung folgender Schritte:

30

Es ist ein Teilstück einer vorgegebenen Bahn ermittelbar, welches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar ist.

35

Ferner ist im weiteren ein erster Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn ermittelbar unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten Bahnpunkt berücksichtigt.

Sodann ist ein Erweiterungsteilstück ermittelbar, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teilstück umfasst.

Bei der Planung der erweiterten Bahn ist das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn einfügbar.

- 5 Das Computerprogramm-Erzeugnis, das ein computerlesbares Speichermedium umfasst, auf dem ein Programm gespeichert ist, ermöglicht einem Computer, nachdem es in einen Speicher des Computers geladen worden ist, folgende Schritte durchzuführen zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile
- 10 Einheit:
Es ist ein Teilstück einer vorgegebenen Bahn ermittelbar, welches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar ist.
Ferner ist im weiteren ein erster Bahnpunkt der vorgegebenen
- 15 Bahn ermittelbar unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten Bahnpunkt berücksichtigt.
Sodann ist ein Erweiterungsteilstück ermittelbar, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der
- 20 vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teilstück umfasst.
Bei der Planung der erweiterten Bahn ist das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn einfügbar.
- 25 Auf dem computerlesbaren Speichermedium ist ein Programm gespeichert, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in einen Speicher des Computers geladen worden ist, folgende Schritte durchzuführen zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit:
- 30 Es ist ein Teilstück einer vorgegebenen Bahn ermittelbar, welches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar ist.
Ferner ist im weiteren ein erster Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn ermittelbar unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren
- 35 Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten Bahnpunkt berücksichtigt.

Sodann ist ein Erweiterungsteilstück ermittelbar, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teilstück umfasst. Bei der Planung der erweiterten Bahn ist das Erweiterungs-

5 teilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn einfügbar.

Die Anordnung sowie das Computerprogrammerzeugnis und das computerlesbare Speichermedium sind insbesondere geeignet zur

10 Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder einer seiner nachfolgend erläuterten Weiterbildungen.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt darin, dass bei der Planung der erweiterten Bahn die vorgegebene, ursprüngliche Bahn als Grundlage für die Planung zusätzlicher Teilstücke der Erweiterungsbahn, mit welchen die vorgegebene Bahn

15 nur erweitert bzw. ergänzt wird, genutzt wird. Damit ist keine Neuplanung, welche eine gegenüber der ursprünglichen Bahn stark veränderte Streckenführung aufweisen würde, notwendig.

20 Damit lässt sich Rechenleistung und Speicherplatz einsparen. Außerdem wird das Planungsverfahren beschleunigt.

Ferner weist die Erfindung den Vorteil auf, dass bei der Planung der erweiterten Bahn keine zusätzliche Information, beispielsweise eine neu aufzunehmende Umgebungsinformation, notwendig ist. Bei der Planung der erweiterten Bahn wird nur auf bereits in der vorgegebenen Bahn enthaltenen Information zurückgegriffen.

25

30 Dies ist insbesondere dann sehr vorteilhaft, wenn die vorgegebene Bahn manuell eingebrachtes Wissen enthält, das automatisch nicht oder nur sehr schwer zu generieren ist.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die im weiteren beschriebenen Weiterbildungen beziehen sich
5 sowohl auf die Verfahren als auch auf die Anordnung.

Die Erfindung und die im weiteren beschriebenen Weiterbildungen können sowohl in Software als auch in Hardware, beispielsweise unter Verwendung einer speziellen elektrischen
10 Schaltung, realisiert werden.

Ferner ist eine Realisierung der Erfindung oder einer im weiteren beschriebenen Weiterbildung möglich durch ein computerlesbares Speichermedium, auf welchem ein Computerprogramm gespeichert ist, welches die Erfindung oder Weiterbildung ausführt.
15

Auch kann die Erfindung oder jede im weiteren beschriebene Weiterbildung durch ein Computerprogrammerzeugnis realisiert sein, welches ein Speichermedium aufweist, auf welchem ein Computerprogramm gespeichert ist, welches die Erfindung oder Weiterbildung ausführt.
20

Zusätzlich zu dem Abstandskriterium bei der Ermittlung des ersten Bahnpunkts können weitere Kriterien verwendet werden, beispielsweise ein Kinematikkriterium, welches eine kinematische Eigenschaft der autonomen mobilen Einheit berücksichtigt.
25

Ein weiteres Kriterium bzw. weitere Kriterien kann bzw. können sein ein Zeitkriterium und/oder ein Bearbeitungskriterium, welche/welches eine Fahrzeit und/oder eine Fahrstrecke der autonomen mobilen Einheit berücksichtigt bzw. berücksichtigen.
30

Ferner ist es auch möglich, die Ermittlung des ersten Bahn-
punkts auch unter Verwendung von Standardverfahren einer Gra-
phentheorie nach Dijkstra, welche aus „Introduction to Algo-
rithms“ , Thomas H. Cormen et al., The MIT Press, Cambridge,
5 Massachusetts, 23. Auflage, London, 1999, Mac Graw-Hill Book
Company New York, bekannt sind, durchzuführen.

10 In einer Ausgestaltung umfasst das Erweiterungsteilstück zu-
sätzlich zu dem durch die autonome mobile Einheit nicht ab-
fahrbarem Teilstück mindestens ein weiteres Teilstück der
vorgegebenen Bahn.

15 Auch ist es möglich, dass das Erweiterungsteilstück zum größ-
ten Teil Teilstücke der vorgegebenen Bahn umfasst.

20 Bei einer Weiterbildung ist der zweite Bahnpunkt mit dem ers-
ten Bahnpunkt identisch. Anschaulich bedeutet dies, dass die
autonome mobile Einheit an einem Bahnpunkt die ursprünglich
geplante Bahn verlässt, dann das zu einem früheren Zeitpunkt
nicht abfahrbare Teilstück abfährt und anschließend an dem-
selben Bahnpunkt wieder auf die ursprünglich geplante Bahn
zurückkehrt.

25 Unter bestimmten Umständen, beispielsweise bei einer komple-
xen Bahnführung, kann es hinsichtlich einer möglichst kurzen
und effektiven Bahnführung günstig sein, dass der zweite
Bahnpunkt auf der vorgegebenen Bahn nach dem ersten Bahnpunkt
liegt. Dadurch lässt sich ein mehrfaches Abfahren desselben
30 Bahnstücks vermeiden.

Vorzugsweise wird das Verfahren zur Planung einer erweiterten
Bahn für eine autonome mobile Einheit eingesetzt in einem re-
kursiven Bahnplanungsverfahren derart,
35 dass die erweiterte Bahn, welche in einem vorangehenden Ite-
rationsschritt ermittelt wurde, die vorgegebene Bahn eines
dem vorangehenden Iterationsschritt nachfolgenden Iterations-

schritts ist. Damit ist es möglich, plötzlich auftretende neue Hindernisse unverzüglich durch eine Erweiterungsplanung zu berücksichtigen, ohne bei einem Auftreten der neuen Hindernisse jeweils eine komplette neue Bahn ermitteln zu müssen.

In einer Ausgestaltung wird das Verfahren oder eine Weiterbildung davon eingesetzt bei einem Reinigungsroboter, welcher in diesem Fall die erweiterte Bahn im Rahmen einer Reinigungstätigkeit abfährt und zumindest Teile der erweiterten Bahn reinigt.

Es zeigen

Figur 1 eine Landkarte eines von einem Reinigungsroboter zu reinigenden Raums mit einer vorabgeplanten Reinigungsbahn;

Figur 2 eine Skizze eines Reinigungsroboters mit einer Reinigungsvorrichtung und Aufnahmemitteln;

Figur 3 eine Landkarte eines von einem Reinigungsroboter zu reinigenden Raums mit einer vorabgeplanten Reinigungsbahn und einem Hindernis, welches einen Teil einer vorabgeplanten Bahn blockiert, sowie einer erweiterten Nachreinigungsbahn;

Figur 4 eine Landkarte eines von einem Reinigungsroboter zu reinigenden Raums mit einer vorabgeplanten Reinigungsbahn, einem ersten Hindernis, welches einen ersten Teil der vorabgeplanten Bahn blockiert, einer zugehörigen ersten erweiterten Nachreinigungsbahn und einem zweiten Hindernis, welches einen zweiten Teil der vorabgeplanten Bahn blockiert, sowie einer zugehörigen zweiten alternativen erweiterten Nachreinigungsbahn;

Figur 5 ein Ablaufdiagramm, in dem Verfahrensschritte eines Ausführungsbeispiels dargestellt sind;

5 Figur 6a bis 6f Landkarten eines von einem Reinigungsroboter zu reinigenden Raums mit Reinigungsbahnen und Hindernissen gemäß einem aufgezeichneten Log-File;

10 Fig.2 zeigt einen Reinigungsroboter 201 mit einer Reinigungsvorrichtung 210 und mehreren Laserscannern 202. Die Laserscanner 202 nehmen Bilder einer Umgebung des Reinigungsroboters 201 auf und führen die Bilder einer Recheneinheit 203 über Verbindungen 204, 205 zu.

15 Über eine Eingangs-/ Ausgangsschnittstelle 206, die über einen Bus 207 mit einem Speicher 208 sowie einem Prozessor 209 verbunden ist, werden die Bildsignale dem Speicher 208 zugeführt.

20 Das im weiteren beschriebene Verfahren wird in dem Prozessor 209 durchgeführt. Somit ist der Prozessor 209 derart eingerichtet, dass die im weiteren beschriebenen Verfahrensschritte durchführbar sind.

25 Fig.1 zeigt symbolisch eine von dem Reinigungsroboter 201 erstellte Landkarte 101, die einen von dem Reinigungsroboter 201 zu reinigenden Raum darstellt. Anschaulich gesehen ist eine solche Landkarte 101 ein elektronisches Abbild des zu reinigenden Raums.

30 Die Landkarte 101 wird von dem Reinigungsroboter 201 erstellt derart, dass dieser sich durch den Raum bewegt und Bilder seiner Umgebung zu unterschiedlichen Zeitpunkten und an unterschiedlichen Orten in dem zu reinigenden Raum mit den Laserscannern 202 aufnimmt.

35

Die aufgenommenen Bilder des Raums werden von dem Reinigungsroboter 201 gespeichert und zu der Landkarte 101, welche ebenfalls gespeichert wird, zusammengeführt.

- 5 Somit sind in der Landkarte 101 Wände 103 des Raums und auch Hindernisse 104 in Form von Regalen oder Schränken, die in den Raum hineinragen, abgebildet.

10 Unter Verwendung der Landkarte 101 bestimmt der Reinigungsroboter 201 im Rahmen einer Vorabplanung unter Verwendung eines Vorabbahnplanungsverfahrens eine optimale, vorabgeplante Reinigungsbahn 110, deren Abfahren möglichst wenig Zeit kostet, aber möglichst viel von der abzufahrenden und zu reinigenden Fläche des Raums berücksichtigt.

15

Diese vorabgeplante Reinigungsbahn 110 wird in die Landkarte 101 eingetragen und gespeichert.

20

In Fig.1 ist die vorabgeplante Bahn 110 dargestellt. Die vorabgeplante Bahn 110 beginnt in Punkt S (Start) 111 und führt von diesem entlang einer dargestellten Bahnlinie 112 in Pfeilrichtung 113 zu Punkt E (Ende) 114.

25

Das von dem Reinigungsroboter 201 durchgeführte Vorabplanungsverfahren ist in DE 198 04 195 A1 beschrieben.

30

Nach Durchführung der Vorabplanung und Ermittlung der vorabgeplanten Bahn 110, beginnt der Serviceroboter im Rahmen eines Reinigungsvorgangs diese Bahn 110 abzufahren. Bei dem Reinigungsvorgang steht die Reinigungsvorrichtung 210 des Reinigungsroboters 201 in einem Wirkkontakt mit dem Boden des zu reinigenden Raums.

35

Der Reinigungsroboter 201 bewegt sich entlang der vorabgeplanten und gespeicherten Bahn 110 bzw. dargestellten Bahnlinie 112 und nimmt in periodischen Abständen Bilder seiner Umgebung auf. Durch einen Vergleich der aufgenommenen Bilder

mit der gespeicherten Landkarte 101 orientiert sich der Roboter 201 in dem Raum.

5 Der Reinigungsroboter 201 fährt solange entlang der vorabgeplanten Bahn 110 bis er ein neues Hindernis detektiert, welches bei der Vorabplanung nicht berücksichtigt wurde und welches einen Teil der vorabgeplanten Bahn 110 blockiert.

10 Ein solches Hindernis kann beispielsweise ein sich dem Raum befindliche Person oder ein weiterer mobiler Einrichtungsgegenstand sein.

15 Die Blockade der vorabgeplanten Bahn 110 durch das neue Hindernis verhindert das Abfahren eines Teilstücks der ursprünglichen Bahn 110 und erfordert eine Planung einer Ausweichbahn bzw. einer Nachreinigungsbahn.

20 Dabei umfasst eine solche Nachreinigungsbahn nicht nur einen geänderten Bahnverlauf im engeren Sinn, d. h. nicht nur eine Bahn beim Umrunden des neuen Hindernisses oder nicht nur ein zusätzliches, an einer späteren Stelle der vorabgeplanten Bahn eingefügtes Nachreinigungsteilstück, sondern den gesamten, neugeplanten Bahnverlauf, welcher auch gegenüber der vorabgeplanten Bahn unverändert geblieben Bahnstücke umfasst.

30 Eine Planung und eine Durchführung eines Bahnteilsstücks für ein Umrunden bzw. Umfahren eines Hindernisses ist in DE 198 04 195 A1 beschrieben.

Im folgenden wird die Planung einer solchen Nachreinigungsbahn beschrieben.

35 Fig.3 zeigt die gespeicherte Landkarte 101 mit der vorabgeplanten Bahn 110, einem neuen Hindernis 301 sowie eine von dem Reinigungsroboter geplante Nachreinigungsbahn mit den Teilbahnstücken 302, 303, 304, 305, 306 und 307.

Bei der Planung einer Nachreinigungsbahn werden folgenden grundlegenden Planungsstrategien angewendet:

- 5 a) Bei einem durch ein Hindernis blockiertes Teilstück der vorabgeplanten Bahn, welches an späterer Stelle der vorabgeplanten Bahn ein weiteres Mal abgefahren wird, wird keine Nachreinigungsbahn geplant. Das Hindernis wird engst möglichst umfahren. Dabei wird ein vorab festgelegter Sicherheitsabstand berücksichtigt.
- 10
- b) Bei einem durch ein Hindernis blockiertes Teilstück der vorabgeplanten Bahn, welches an späterer Stelle der vorabgeplanten Bahn kein weiteres Mal abgefahren wird, wird eine
- 15 Nachreinigungsbahn geplant derart:
- b0) Die Nachreinigungsbahn umfasst das Teilbahnstück, auf welchem der Reinigungsroboter das neue Hindernis engst möglichst bei Einhaltung eines vorab festgelegten Sicherheitsabstands umfährt.
- 20
- b1) Es wird derjenige Bahnpunkt der vorabgeplanten Bahn ermittelt, welcher zu dem blockierten und beim Umfahren des neuen Hindernisses ausgelassenen Teilbahnstücks der vorabgeplanten Bahn bzw. dem Hindernis den geringsten Abstand aufweist. An diesem nächstliegenden Bahnpunkt wird ein zusätzliches Bahnstück in die vorabgeplante Bahn eingefügt.
- 25
- b2) Das zusätzlich einzufügende Teilstück führt von dem nächstliegenden Bahnpunkt zu demjenigen Bahnpunkt der vorabgeplanten Bahn, an dem der Reinigungsroboter beim Umfahren des neuen Hindernisses die vorabgeplante Bahn verlässt oder diese nach Umfahren des neuen Hindernisses wieder betritt (Annäherungsteilstück).
- 30

b3) Ferner umfasst das zusätzlich einzufügende Teilstück das beim Umfahren des neuen Hindernisses ausgelassene Teilstück, welches an das Annäherungsteilstück angehängt wird.

5 b4) An das angehängte Teilstück wird ein Rückführungsteilstück angefügt, welches wieder zurück zu dem nächstliegenden Bahnpunkt führt.

10 b5) Der weitere Verlauf der Nachreinigungsbahn entspricht dem ursprünglichen Verlauf der vorabgeplanten Bahn.

c) Die Nachreinigungsbahn tritt im weiteren Verlauf des Reinigungsvorgangs an die Stelle der vorabgeplanten Bahn.

15 d) Trifft der Reinigungsroboter im weiteren Verlauf des Reinigungsvorgangs, d.h. beim Abfahren der an die Stelle der ursprünglichen, vorabgeplanten Bahn getretenen Nachreinigungsbahn, auf ein weiteres neues Hindernis, so werden oben beschriebene Planungsstrategien entsprechend ein weiteres Mal
20 rekursiv durchgeführt.

Gemäß obiger grundlegender Planungsstrategien wird vom Reinigungsroboter 201 die im folgenden beschriebene Nachreinigungsbahn 302 bis 307 ermittelt. Entsprechende Verfahrensschritte
25 sind in Fig.5 dargestellt:

Erreicht der Reinigungsroboter 201 Bahnpunkt A, an welchem der das neue Hindernis 301 detektiert, so löst er die Planung der Nachreinigungsbahn 302 bis 307 aus (500).

30

Die Nachreinigungsbahn 302 bis 307 führt von dem Bahnpunkt A entlang des neuen Hindernisses 301 302, wobei ein vorgegebener Sicherheitsabstand zu dem neuen Hindernis 301 berücksichtigt wird (505).

35

An Punkt B trifft die Nachreinigungsbahn 302 bis 307 wieder auf die ursprüngliche, vorabgeplante Bahn 110. Der Reini-

gungsroboter speichert, dass das Bahnstück 305 der vorabgeplanten Bahn 110, welches von den Punkten A und B begrenzt wird, nicht abgefahren bzw. gereinigt und damit ausgelassen wurde (505).

5

Anschließend überprüft der Reinigungsroboter 201, ob dieses nicht abgefahrne bzw. ausgelassene Bahnstück 305 an einer späteren Stelle der vorabgeplanten Reinigungsbahn 110 ein weiteres Mal abgefahren wird (510).

10

Dieses trifft für die vorabgeplante Reinigungsbahn 110 nicht zu, so dass eine Nachreinigung des ausgelassenen Teilstücks 305 und eine entsprechende Planung der Nachreinigungsbahn 302 bis 307 notwendig ist. Andernfalls wäre keine weitere Planung der Nachreinigungsbahn 302 bis 307 notwendig (511). Der ursprünglich, vorabgeplante Bahnverlauf 112 wäre weiterhin maßgebend.

15

Der Reinigungsroboter 201 überprüft die nachfolgenden Bahnpunkte des weiteren Verlaufs der vorabgeplanten Bahn 110 dahingehend, welcher Bahnpunkt den geringsten Abstand zu dem ausgelassenen Bahnstück 305 aufweist (515).

20

Dabei ermittelt er den Bahnpunkt C, an welchem Bahnteilstücke 304 bis 306 der Nachreinigungsbahn 302 bis 307 eingefügt werden (515).

25

Im weiteren verläuft die Nachreinigungsbahn 302 bis 307 von Punkt B entlang der ursprünglichen Bahn 110 zu Punkt C 303. Von Punkt C verläuft die Nachreinigungsbahn in kürzester Verbindung zu Punkt B 304, welches der letzte Bahnpunkt des ausgelassenen Teilstücks 305 ist (520).

30

Von Punkt B verläuft die Nachreinigungsbahn 302 bis 307 entlang der ursprünglichen Bahn 110 zu Punkt A 305, wobei das ausgelassene Teilstück 305 entgegen der ursprünglich geplanten Fahrtrichtung abgefahren und dabei gereinigt wird (525).

35

Von Punkt A verläuft die Nachreinigungsbahn 302 bis 307 in kürzester Verbindung 306 zurück zu Punkt C und damit wieder auf die ursprüngliche vorabgeplante Bahn 110 (530).

5

Der nachfolgende Verlauf 307 der Nachreinigungsbahn 302 bis 307 entspricht dem ursprünglichen Verlauf der vorabgeplanten Bahn 110 und endet im Punkt E (535).

10 Im folgenden werden Alternativen A_i (i = Nummer der jeweiligen Alternative) zu dem Ausführungsbeispiel beschrieben.

15 A1) In einer Alternative zu dem Ausführungsbeispiel wird die Landkarte 101 nicht durch Abfahren und Aufnehmen des zu reinigenden Raums erzeugt, sondern wurde vorab erstellt, beispielsweise durch ein Programmieren, und ist in dem Reinigungsroboter gespeichert.

20 A2) In einer weiteren Alternative zu dem Ausführungsbeispiel wird bei der Ermittlung des nächstliegenden Punktes C, dem Einfügungspunkt des Erweiterungsteilstücks, zusätzlich zu dem Abstandskriterium ein Kinematikkriterium verwendet, welches eine kinematische Eigenschaft der autonomen mobilen Einheit berücksichtigt.

25

Weist beispielsweise ein Reinigungsroboter 201 eine Dreiradkinematik auf, d.h. der Reinigungsroboter bewegt sich nur auf drei Rädern, so können bestimmte Punkte im Raum nur sehr schwer und nur in einer bestimmten Ausrichtung des Reinigungsroboters angefahren werden. In solchen Fällen wäre dann ein aufwendiges Rangiermanöver, um in eine vorbestimmte Ausrichtung zu kommen, von dem Reinigungsroboter durchzuführen.

30

Bei dieser Alternative wird der nächstliegende Punkt C entlang der vorabgeplanten Bahn verschoben, bis er auch kinematisch günstig, d.h. ohne ein großes Rangiermanöver, von dem Reinigungsroboter angefahren werden kann. Die weiteren Pla-

35

nungsschritte werden entsprechend dem ursprünglichen Verfahren durchgeführt.

A3) In einer weiteren Alternative zu dem Ausführungsbeispiel werden bei der Ermittlung des nächstliegenden Punktes C, dem Einfügungspunkt des Erweiterungsteilstücks, zusätzlich zu dem Abstandskriterium ein Zeitkriterium und ein Bearbeitungskriterium, welche eine Fahrzeit und eine Fahrstrecke des Reinigungsroboters berücksichtigen.

Bei dieser Alternative wird der nächstliegende Punkt C entlang der vorabgeplanten Bahn verschoben, bis er auch unter zeitlich und bearbeitungstechnischen Bedingungen günstig angefahren werden kann. Die weiteren Planungsschritte werden entsprechend dem ursprünglichen Verfahren durchgeführt.

Unter zeitlich günstigen Bedingungen ist eine möglichst kurze Reinigungsdauer zu verstehen. Unter bearbeitungstechnisch günstigen Bedingungen sind möglichst effiziente Reinigungspositionen zu verstehen.

A4) Eine vierte Alternative zu dem Ausführungsbeispiel betrifft die Ermittlung des Rückführungsteilstücks 306 (Strategieschritt b4).

So kann es beispielsweise hinsichtlich einer Reinigungseffizienz günstiger sein, dass das Rückführungsteilstück an einem anderen Bahnpunkt der vorabgeplanten Bahn endet als im Ausgangspunkt, d.h. im nächstliegenden Punkt C (vgl. Ausführungsbeispiel).

Einen solchen Fall zeigt Fig.4.

Fig.4 zeigt die gespeicherte Landkarte 101 mit der Konfiguration gemäß dem Ausführungsbeispiel, d.h. mit der vorabgeplanten Bahn 110, dem neuen Hindernis 301 sowie die von dem Rei-

nigungsroboter geplante Nachreinigungsbahn mit den Teilbahnstücken 302, 303, 304, 305, 307 und 307.

5 Darüber hinaus zeigt Fig.4 ein weiteres neues Hindernis 401 sowie die zugehörige, von dem Reinigungsroboter geplante Nachreinigungsbahn mit den Teilbahnstücken 402, 403, 404, 405, 406 und 407.

10 In diesem Fall endet das Rückführungsteilstück 406 nicht im Punkt C sondern in einem Punkt D. Das Bahnteilstück 408 der ursprünglichen Bahn 110 zwischen den Punkten C und D bleibt bei diesem Fall ungereinigt.

15 Es ist anzumerken, dass das ursprüngliche Planungsverfahren auch durch beliebige Kombinationen der beschriebenen Alternativen modifiziert werden kann.

20 Im weiteren ist ein während eines Reinigungsvorgangs von dem Reinigungsroboter aufgezeichnetes, kommentiertes Log-File angegeben.

25 Im allgemeinen wird ein solches Log-File während eines Reinigungsvorgangs (online) erstellt. Der Reinigungsroboter zeichnet alle Planungsvorgänge sowie Fahrvorgänge auf, welche in dem Log-File gespeichert werden. Damit können die Planungsvorgänge und die Fahrvorgänge nach Beendigung des Reinigungsvorgangs nachvollzogen und kontrolliert werden.

30 In dem nachfolgend angegeben Log-File sind verschiedene, von dem Reinigungsroboter abgefahrene Bahnverläufe (Fig.6a bis Fig.6f) aufgezeichnet und kommentiert, welche Bahnverläufe gemäß den im vorhergehenden beschriebenen Planungsverfahren ermittelt wurden.

35 Log-File:

Der Roboter reinigt, bis er bei Konfiguration 129 auf ein Hindernis stößt. (Fig.6a, Bild 1_129)

Es wird keine Nachreinigung geplant, da der Roboter die Stelle sowieso nochmals passiert.
(Fig.6b, Bild 2_219)

Da das Hindernis aber immer noch da war muss der Roboter wieder ausweichen.

Danach wird ein Nachreinigen geplant:

```

5  Debug  16:26:35.838> Recur   : [467] 265 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211
    212 213 214 215 216 21
    Debug  16:26:35.838> Recur   : [487] 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231
    232 233 234 235 236 23
    Debug  16:26:35.838> Recur   : [507] 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251
10  252 253 254 255 256 25
    Debug  16:26:35.838> Recur   : [527] 259 260 261 262 263 264 265
    Debug  16:26:35.838> Recur   : ***** Detour ready *****
    1     16:26:35.838> Recur: detour 265_(6.7m)_[213...223]_(14.8m)_265 (for 564 cells) wai-
    ting

```

15

Das heißt, es werden zusätzliche Konfigurationen 467 bis 533 erzeugt, die nach 265 in die normale Bahn eingefügt werden.

Der Roboter ist auf dem Weg die untere Insel zu umrunden, biegt dann aber nach Konfigurations 20 265 nach oben ab. (Fig.6c, Bild 3_472)

Die ausgelassene Stelle wird nachgereinigt (Fig.6d, Bild 4_488). Um mit der Flügelseite zur Insel weiterzumachen muss er danach nochmals ganz nach unten, setzt dann aber seine Fahrt an der unterbrochenen Stelle fort (Fig.6e, Bild 5_528; Fig.6f, Bild 6_267). Danach wird die Bahn ohne Störungen beendet.

25

Auszug aus dem Logfile:

```

30  -----> -----
    -----
    1     16:01:10.175> Mission 923 started (23.05.2001), Version 2.01.02
    -----> -----
    -----
    1     16:01:10.175> Mission - start execution of path 'PATH9'
35  ...
    Debug  16:01:22.933> Recur   : Precalc 0: Next look after 171
    Debug  16:01:24.205> Recur   : Precalc 1: Next look after 172

```

...

2 16:02:32.523> Recur starts new search for detour

Debug 16:02:32.693> Recur : 5->6 uncleaned: 77 cells now, 5 cells at end

Debug 16:02:32.854> Recur : 6->7 uncleaned: 35 cells now, 6 cells at end

5 Debug 16:02:33.014> Recur : 7->8 uncleaned: 14 cells now, 7 cells at end

Debug 16:02:33.174> Recur : 23->24 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end

Debug 16:02:33.354> Recur : 24->25 staying uncleaned: 16 cells now, 16 cells at end

Debug 16:02:33.575> Recur : 25->26 staying uncleaned: 14 cells now, 14 cells at end

Debug 16:02:33.735> Recur : 26->27 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end

10 Debug 16:02:33.905> Recur : 33->34 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end

Debug 16:02:34.065> Recur : 34->35 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end

Debug 16:02:34.226> Recur : 35->36 staying uncleaned: 6 cells now, 6 cells at end

Debug 16:02:34.556> Recur : 45->46 uncleaned: 51 cells now, 17 cells at end

Debug 16:02:34.716> Recur : 46->47 uncleaned: 114 cells now, 37 cells at end

15 Debug 16:02:34.876> Recur : 47->48 uncleaned: 226 cells now, 44 cells at end

Debug 16:02:34.876> Recur : Best cleaning path: 45-48 (98 cells)

Debug 16:02:34.876> Recur : No dirt spot big enough for detour

...

2 16:15:32.555> Recur starts new search for detour

20 Debug 16:15:36.761> Recur : Best cleaning path: 23-27 (41 cells)

Debug 16:15:36.761> Recur : No dirt spot big enough for detour

2 16:25:29.884> Recur starts new search for detour

Debug 16:25:32.097> Recur : Best cleaning path: 213-217 (259 cells)

25 Debug 16:25:32.097> Recur : Dirt spot likely to be bigger than can be checked now

...

2 16:26:33.004> Recur starts new search for detour

Debug 16:26:33.074> Recur : 5->6 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end

Debug 16:26:33.135> Recur : 6->7 staying uncleaned: 6 cells now, 6 cells at end

30 Debug 16:26:33.205> Recur : 7->8 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end

Debug 16:26:33.275> Recur : 23->24 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end

Debug 16:26:33.345> Recur : 24->25 staying uncleaned: 16 cells now, 16 cells at end

Debug 16:26:33.415> Recur : 25->26 staying uncleaned: 14 cells now, 14 cells at end

Debug 16:26:33.485> Recur : 26->27 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end

35 Debug 16:26:33.555> Recur : 33->34 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end

Debug 16:26:33.615> Recur : 34->35 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end

Debug 16:26:33.685> Recur : 35->36 staying uncleaned: 6 cells now, 6 cells at end

```

Debug 16:26:33.755> Recur : 55->56 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
Debug 16:26:33.826> Recur : 56->57 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end
Debug 16:26:33.906> Recur : 57->58 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
Debug 16:26:33.966> Recur : 67->68 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
5 Debug 16:26:34.036> Recur : 79->80 uncleaned: 7 cells now, 5 cells at end
Debug 16:26:34.106> Recur : 80->81 staying uncleaned: 12 cells now, 12 cells at end
Debug 16:26:34.176> Recur : 81->82 staying uncleaned: 6 cells now, 6 cells at end
Debug 16:26:34.256> Recur : 82->83 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
Debug 16:26:34.356> Recur : 136->137 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
10 Debug 16:26:34.426> Recur : 137->138 staying uncleaned: 9 cells now, 9 cells at end
Debug 16:26:34.527> Recur : 146->147 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
Debug 16:26:34.627> Recur : 152->153 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
Debug 16:26:34.697> Recur : 213->214 staying uncleaned: 17 cells now, 17 cells at end
Debug 16:26:34.807> Recur : 214->215 uncleaned: 54 cells now, 50 cells at end
15 Debug 16:26:34.907> Recur : 215->216 uncleaned: 115 cells now, 93 cells at end
Debug 16:26:34.977> Recur : 216->217 uncleaned: 255 cells now, 126 cells at end
Debug 16:26:35.127> Recur : 217->218 uncleaned: 123 cells now, 43 cells at end
Debug 16:26:35.198> Recur : 218->219 uncleaned: 91 cells now, 51 cells at end
Debug 16:26:35.268> Recur : 219->220 uncleaned: 76 cells now, 61 cells at end
20 Debug 16:26:35.338> Recur : 220->221 uncleaned: 69 cells now, 65 cells at end
Debug 16:26:35.408> Recur : 221->222 staying uncleaned: 44 cells now, 44 cells at end
Debug 16:26:35.478> Recur : 222->223 uncleaned: 17 cells now, 14 cells at end
Debug 16:26:35.688> Recur : 239->240 staying uncleaned: 11 cells now, 11 cells at end
Debug 16:26:35.758> Recur : 240->241 uncleaned: 18 cells now, 12 cells at end
25 Debug 16:26:35.828> Recur : 241->242 uncleaned: 17 cells now, 7 cells at end
Debug 16:26:35.828> Recur : Best cleaning path: 213-223 (564 cells)
Debug 16:26:35.828> Recur : Result FindOmittedAreas: 213-223 (564 cells)
Debug 16:26:35.828> Recur : Find detour after: 247
Debug 16:26:35.828> Recur : Best branch: 265(=265) 6.75m
30 Debug 16:26:35.828> Recur : Good branch: 265(=265) 6.75m
Debug 16:26:35.828> Recur : Last branch: 466(=466) 17.49m
Debug 16:26:35.828> Recur : Found detour, insert between 265 and 265
Debug 16:26:35.828> Recur : Start planning detour
Debug 16:26:35.838> CleanOpt: Plan: 265 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211
35 212 213
Debug 16:26:35.838> CleanOpt: Plan: 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235
236 237 238 239 240 2

```

```

Debug 16:26:35.838> CleanOpt: 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257
258 259 260 261 262
Debug 16:26:35.838> CleanOpt: 263 264 265
Debug 16:26:35.838> Recur : Generated Detour:
5 Debug 16:26:35.838> Recur : [467] 265 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211
212 213 214 215 216 21
Debug 16:26:35.838> Recur : [487] 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231
232 233 234 235 236 23
Debug 16:26:35.838> Recur : [507] 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251
10 252 253 254 255 256 25
Debug 16:26:35.838> Recur : [527] 259 260 261 262 263 264 265
Debug 16:26:35.838> Recur : ***** Detour ready *****
1 16:26:35.838> Recur: detour 265_(6.7m)_[213...223]_(14.8m)_265 (for 564 cells) wait-
ting
15 Debug 16:26:35.838> Recur : Time:2 sec Lat: 0
Debug 16:26:35.838> Recur : Will continue searching
Debug 16:26:35.919> Recur : Add detour from 265 to 467..532:265
1 16:26:35.919> ##### Detour: cleaning program changed!
2 16:26:35.929> Recur starts new search for detour
20 Debug 16:26:36.019> Recur : 5->6 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end
Debug 16:26:36.119> Recur : 6->7 staying uncleaned: 6 cells now, 6 cells at end
Debug 16:26:36.209> Recur : 7->8 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end
Debug 16:26:36.299> Recur : 23->24 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end
Debug 16:26:36.419> Recur : 24->25 staying uncleaned: 16 cells now, 16 cells at end
25 Debug 16:26:36.519> Recur : 25->26 staying uncleaned: 14 cells now, 14 cells at end
Debug 16:26:36.610> Recur : 26->27 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
Debug 16:26:36.700> Recur : 33->34 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
Debug 16:26:36.790> Recur : 34->35 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
Debug 16:26:36.900> Recur : 35->36 staying uncleaned: 6 cells now, 6 cells at end
30 Debug 16:26:36.990> Recur : 55->56 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
Debug 16:26:37.110> Recur : 56->57 staying uncleaned: 7 cells now, 7 cells at end
Debug 16:26:37.230> Recur : 57->58 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
Debug 16:26:37.351> Recur : 67->68 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
Debug 16:26:37.461> Recur : 79->80 uncleaned: 7 cells now, 5 cells at end
35 Debug 16:26:37.581> Recur : 80->81 staying uncleaned: 12 cells now, 12 cells at end
Debug 16:26:37.671> Recur : 81->82 staying uncleaned: 6 cells now, 6 cells at end
Debug 16:26:37.761> Recur : 82->83 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end

```


23

```

Debug    16:26:37.851> Recur      : 136->137 staying uncleaned: 5 cells now, 5 cells at end
Debug    16:26:37.941> Recur      : 137->138 staying uncleaned: 9 cells now, 9 cells at end
Debug    16:26:38.032> Recur      : 146->147 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
Debug    16:26:38.122> Recur      : 152->153 staying uncleaned: 4 cells now, 4 cells at end
5 Debug    16:26:38.492> Recur      : Best cleaning path: 23-27 (41 cells)
Debug    16:26:38.492> Recur      : No dirt spot big enough for detour
...
        2   16:27:39.290> Recur starts new search for detour
Debug    16:27:42.404> Recur      : Best cleaning path: 23-27 (41 cells)
10 Debug    16:27:42.404> Recur      : No dirt spot big enough for detour
...
        2   16:38:34.131> Recur starts new search for detour
Debug    16:38:34.151> Recur      : Best cleaning path: 23-27 (41 cells)
15 Debug    16:38:34.151> Recur      : No dirt spot big enough for detour
...
        1   16:38:41.332> Mission - execution of path 'PATH9' successfully finished
-----> -----
-----
20         2   16:38:42.193> Global Grid Statistics
          2   16:38:42.193> Path 'PATH9', started 23.05.2001 16:01:08, duration 37:34 minutes
-----> -----
-----
           2   16:38:42.193> To be cleaned:  63.12 square metres, 100.00%,       18134 cells
25          2   16:38:42.193> Already wet:     0.00 square metres,   0.00%,            0 cells
           2   16:38:42.193> Cleaned:        62.26 square metres,  98.63%,       17886 cells
           2   16:38:42.193> Still wet:      0.00 square metres,   0.00%,            0 cells
           2   16:38:42.193> Still dirty:    0.86 square metres,   1.37%,           248 cells
-----> -----
30 -----
-----> -----
-----
          2   16:38:42.193> Recur Statistics
-----> -----
35 -----
           2   16:38:42.193> No|sec lat|              path                  |spot  dirty cleaned
           2   16:38:42.193> --+-----+-----
```

24

```
2      16:38:42.193>  1|  2    0| 265<   6.7m> 213- 223<  14.8m> 265|  564    41    523
```

```
2      16:38:42.193> --+-----+-----+-----+-----+
```

2 16:38:42.193> Extra way: 21.5 metres. Extra time: 3:53 minutes.

2 16:38:42.193> Cleaned 523 cells = 1.8 square metres altogether.

```
5      2      16:38:42.193> 93% of targeted dirt reached.
```

-----> -----

Patentansprüche

1. Verfahren zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit

- 5 - bei dem ein Teilstück einer vorgegebenen Bahn ermittelt wird, welches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar ist,
- bei dem ein erster Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten
10 Bahnpunkt berücksichtigt, ermittelt wird,
- bei dem ein Erweiterungsteilstück ermittelt wird, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teil-
15 stück umfasst,
- bei dem die erweiterte Bahn geplant wird, wobei das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn eingefügt wird.

- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem die Ermittlung des ersten Bahnpunkts weitere Kriterien verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
25 bei dem eines der weiteren Kriterien ein Kinematikkriterium ist, welches eine kinematische Eigenschaft der autonomen mobilen Einheit berücksichtigt.

4. Verfahren nach Anspruch 2,
30 bei dem eines/weitere der weiteren Kriterien ein Zeitkriterium und/oder ein Bearbeitungskriterium sind/ist, welche/welches eine Fahrzeit und/oder eine Fahrstrecke der autonomen mobilen Einheit berücksichtigt.

- 35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem das Erweiterungsteilstück mindestens ein weiteres Teilstück der vorgegebenen Bahn umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
bei dem das Erweiterungsteilstück zum größten Teil Teilstücke
der vorgegebenen Bahn umfasst.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
bei dem der zweite Bahnpunkt mit dem ersten Bahnpunkt iden-
tisch ist.

10 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
bei dem der zweite Bahnpunkt auf der vorgegebenen Bahn nach
dem ersten Bahnpunkt liegt.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
15 eingesetzt in einem rekursiven Bahnplanungsverfahren derart,
dass die erweiterte Bahn, ermittelt in einem vorangehenden
Iterationsschritt, die vorgegebene Bahn eines dem vorangehen-
den Iterationsschritt nachfolgenden Iterationsschritts ist.

20 10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
bei dem die autonome mobile Einheit ein Reinigungsroboter
ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10,
25 eingesetzt bei einer Reinigung der vorgegebenen Bahn durch
den Reinigungsroboter.

12. Anordnung zur Planung einer erweiterten Bahn für eine au-
tonome mobile Einheit mit einem zur Durchführung folgender
30 Schritte eingerichteten Bahnplanungseinheit,
- Ermittlung eines Teilstücks einer vorgegebenen Bahn, wel-
ches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar
ist,
- Ermittlung eines ersten Bahnpunkts der vorgegebenen Bahn
35 unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskri-
teriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ers-
ten Bahnpunkt berücksichtigt,

- Ermittlung eines Erweiterungsteilstücks, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teilstück umfasst,
- 5 - Planung der erweiterten Bahn, wobei das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn eingefügt wird.

13. Anordnung nach Anspruch 12,

10 bei der die Bahnplanungseinheit ein Computerprozessor ist.

14. Computerprogramm-Erzeugnis, das ein computerlesbares Speichermedium umfasst, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in einen Speicher des Computers geladen worden ist, folgende Schritte

15 durchzuführen zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit:

- Ermittlung eines Teilstücks einer vorgegebenen Bahn, welches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar
- 20 ist,
- Ermittlung eines ersten Bahnpunkts der vorgegebenen Bahn unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten Bahnpunkt berücksichtigt,
- 25 - Ermittlung eines Erweiterungsteilstücks, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teilstück umfasst,
- Planung der erweiterten Bahn, wobei das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn eingefügt wird.
- 30

15. Computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es

35 in einen Speicher des Computers geladen worden ist, folgende Schritte durchzuführen zur Planung einer erweiterten Bahn für eine autonome mobile Einheit:

- Ermittlung eines Teilstücks einer vorgegebenen Bahn, welches von der autonomen mobilen Einheit nicht abfahrbar ist,
- 5 - Ermittlung eines ersten Bahnpunkts der vorgegebenen Bahn unter Verwendung mindestens eines vorgebbaren Abstandskriteriums, welches einen Abstand des Teilstücks zu dem ersten Bahnpunkt berücksichtigt,
- 10 - Ermittlung eines Erweiterungsteilstücks, welches an dem ersten Bahnpunkt beginnt, an einem zweiten Bahnpunkt der vorgegebenen Bahn endet und mindestens das Teilstück umfasst,
- Planung der erweiterten Bahn, wobei das Erweiterungsteilstück an dem ersten Bahnpunkt in die vorgegebene Bahn eingefügt wird.

FIG 1

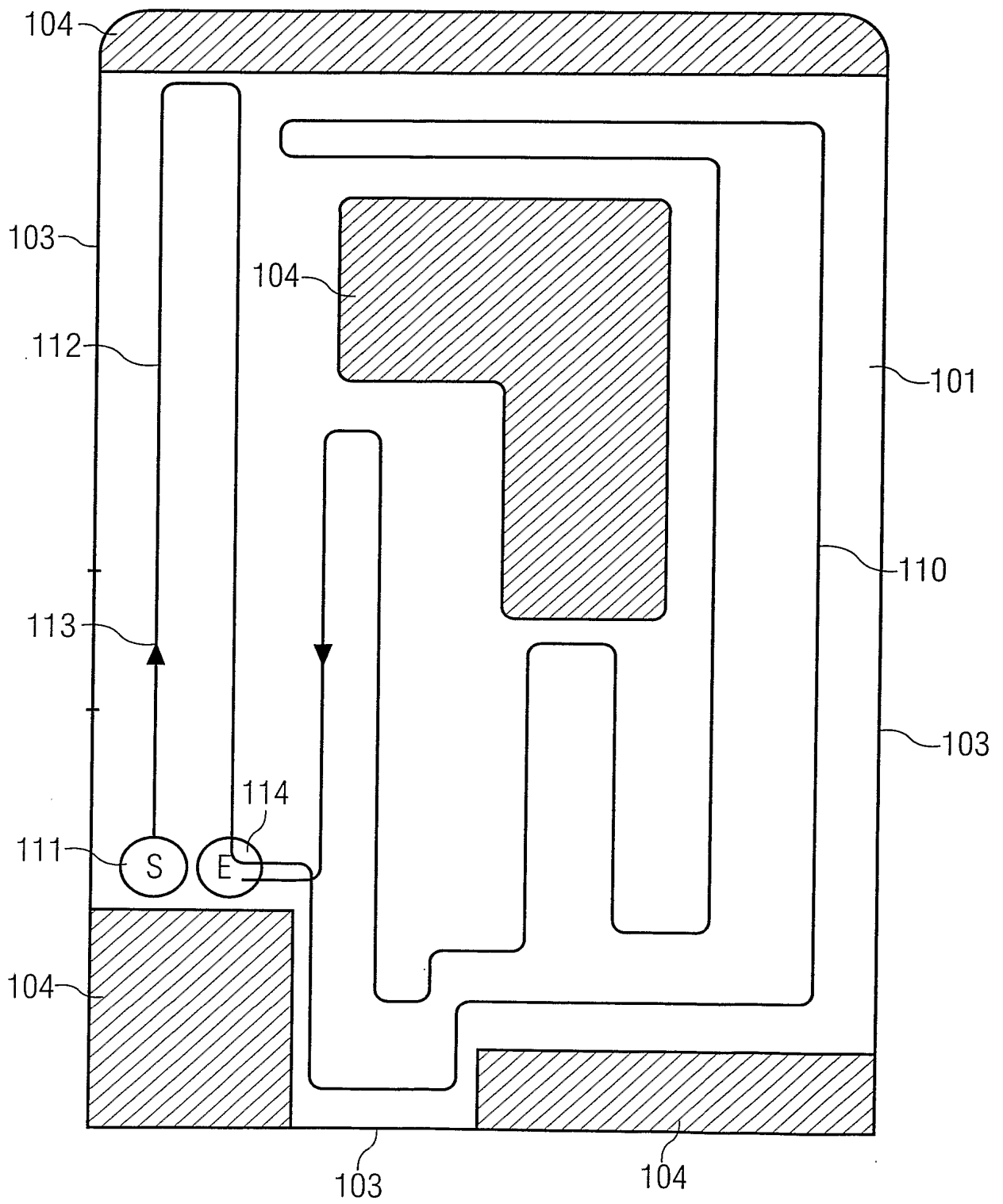


FIG 2

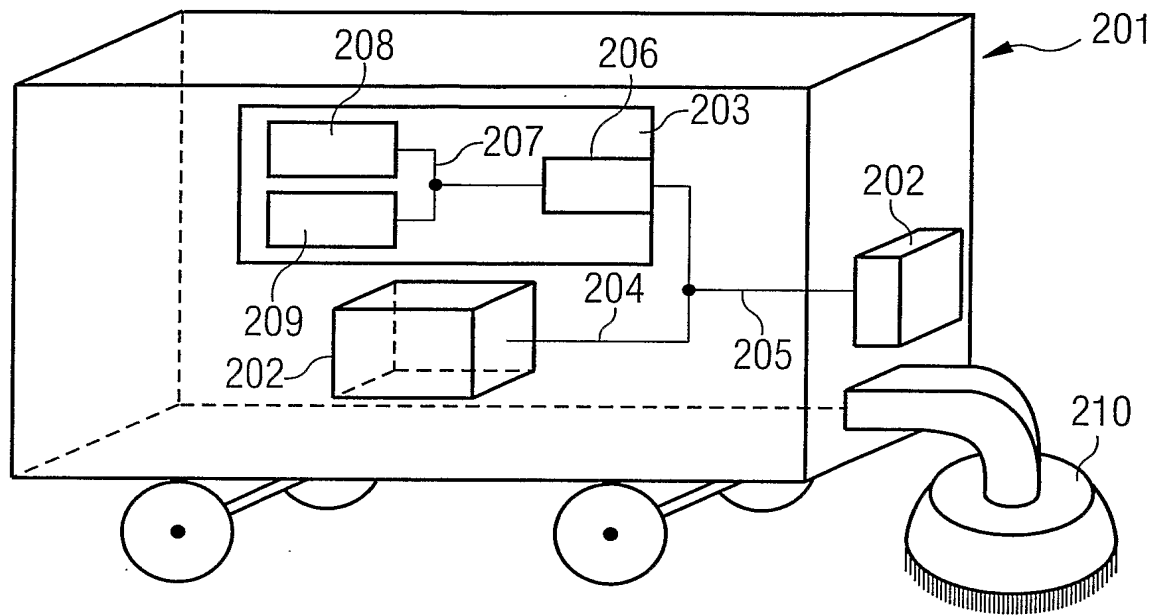


FIG 3

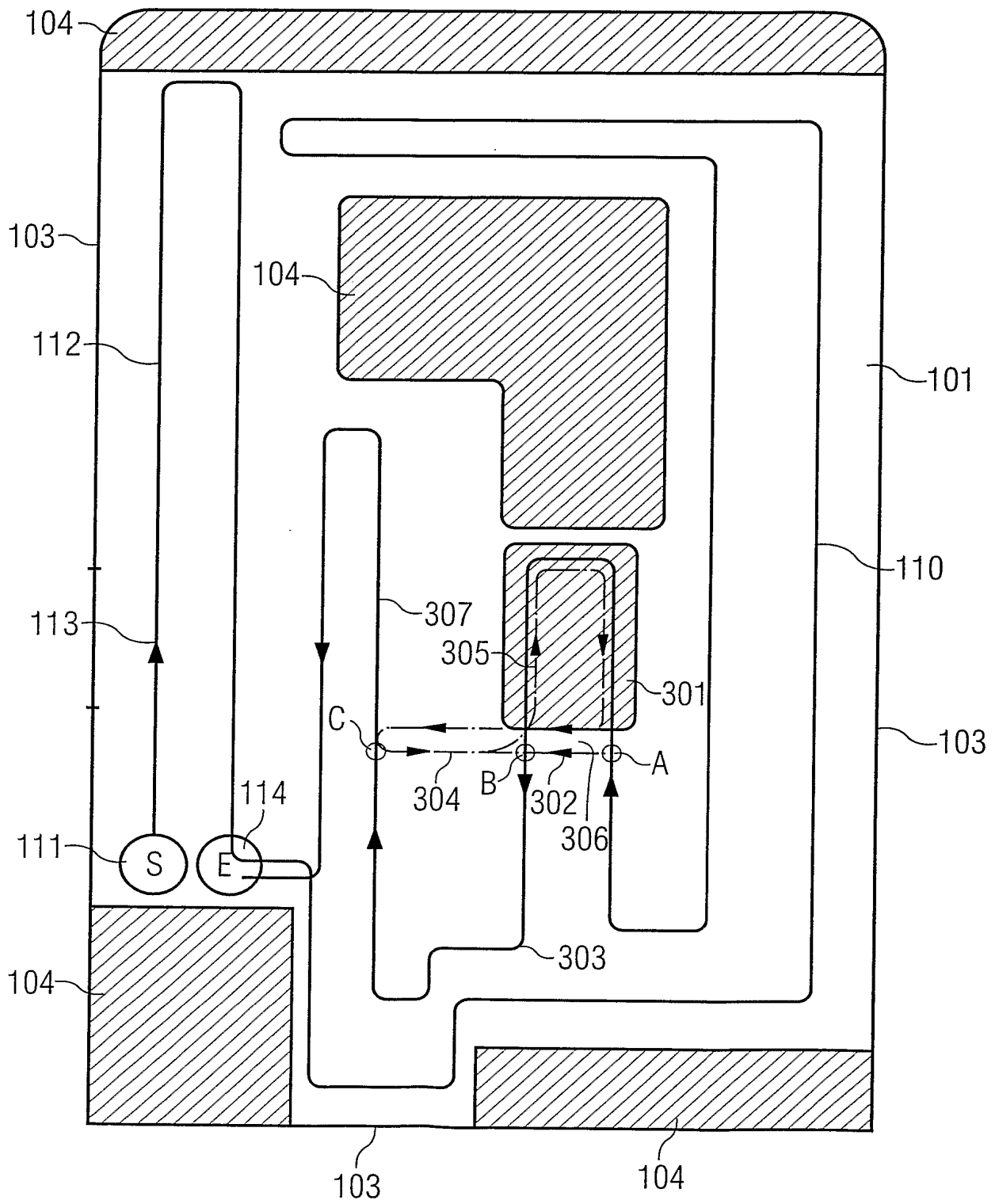


FIG 4

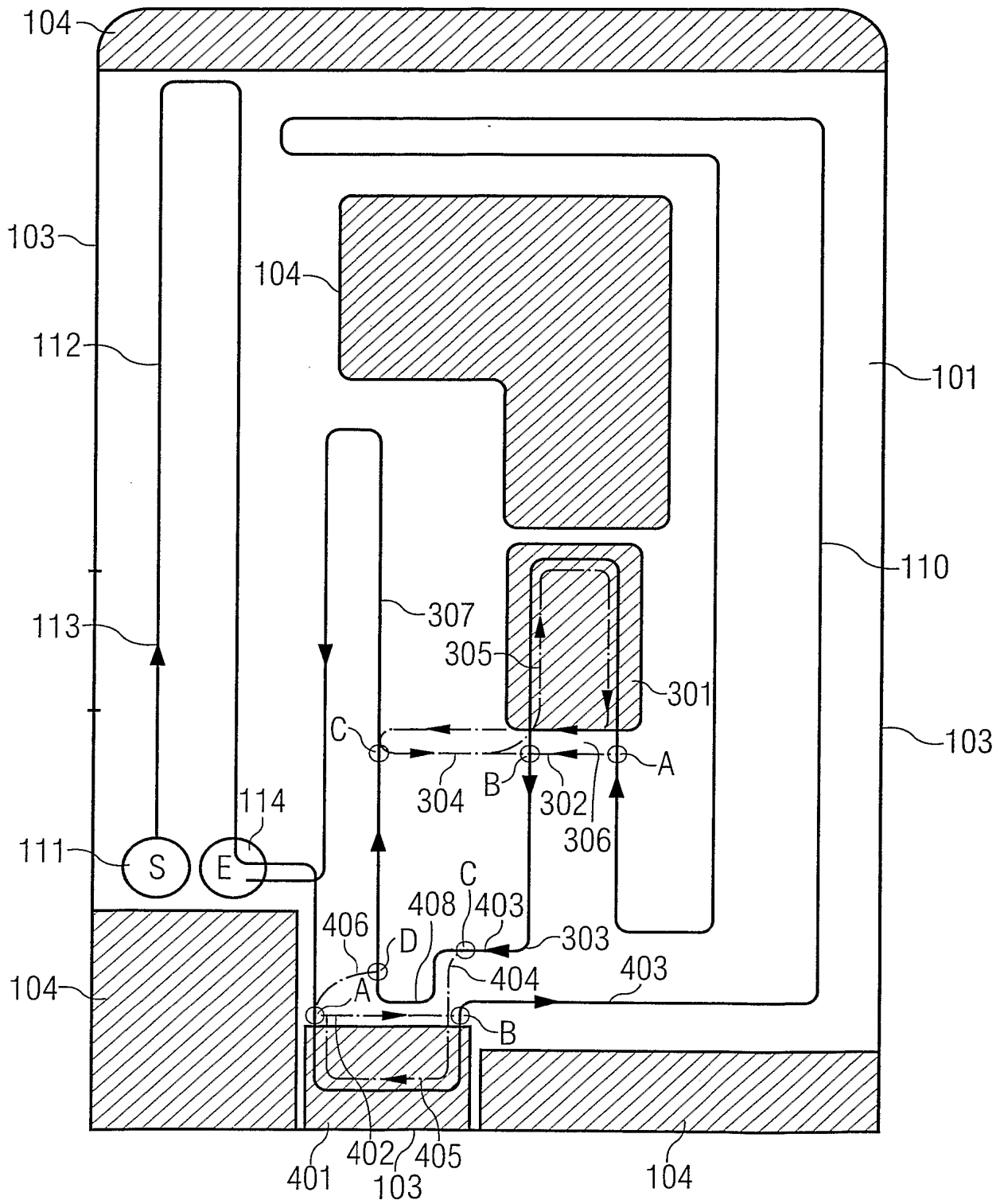


FIG 5

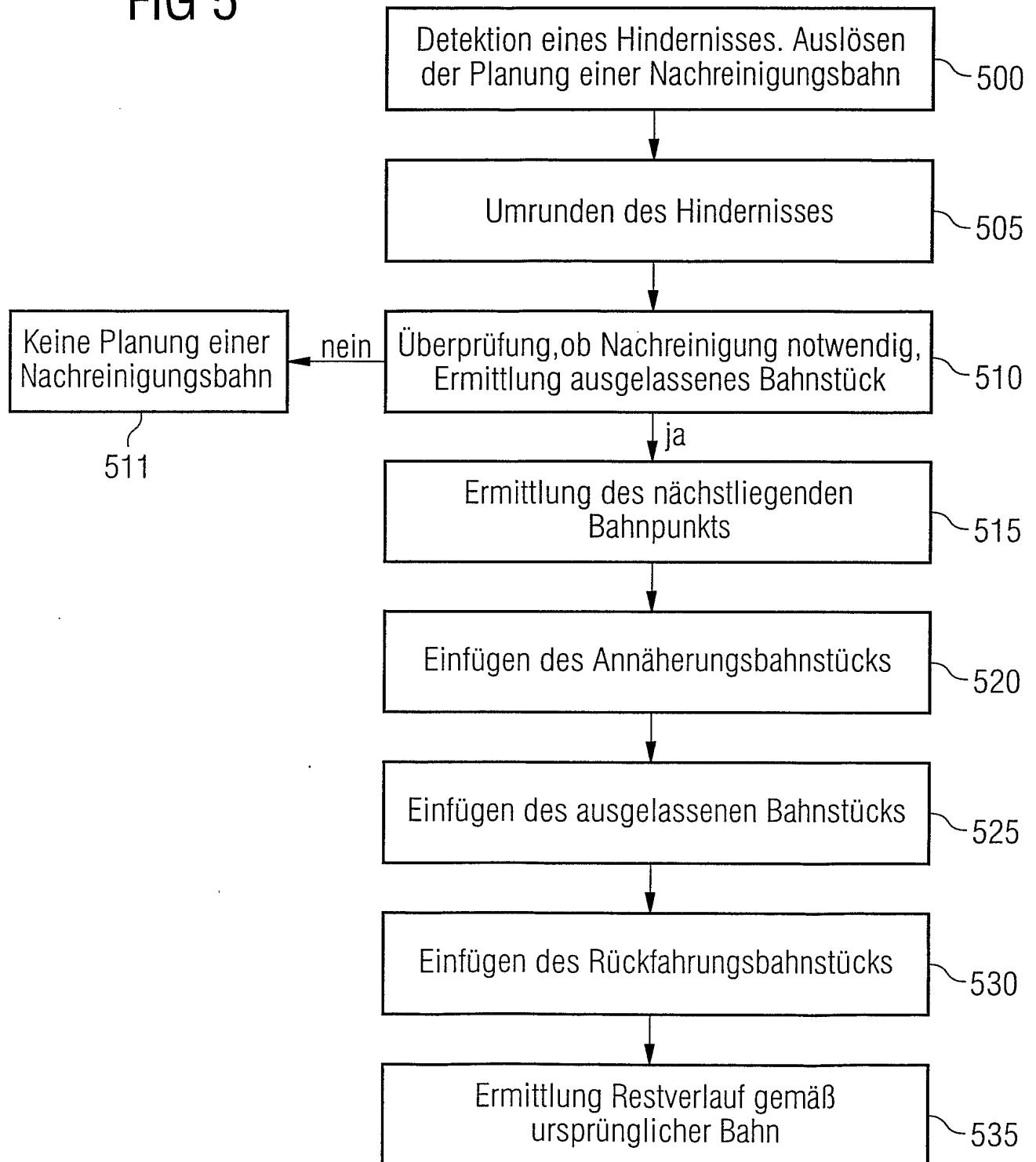


FIG 6b

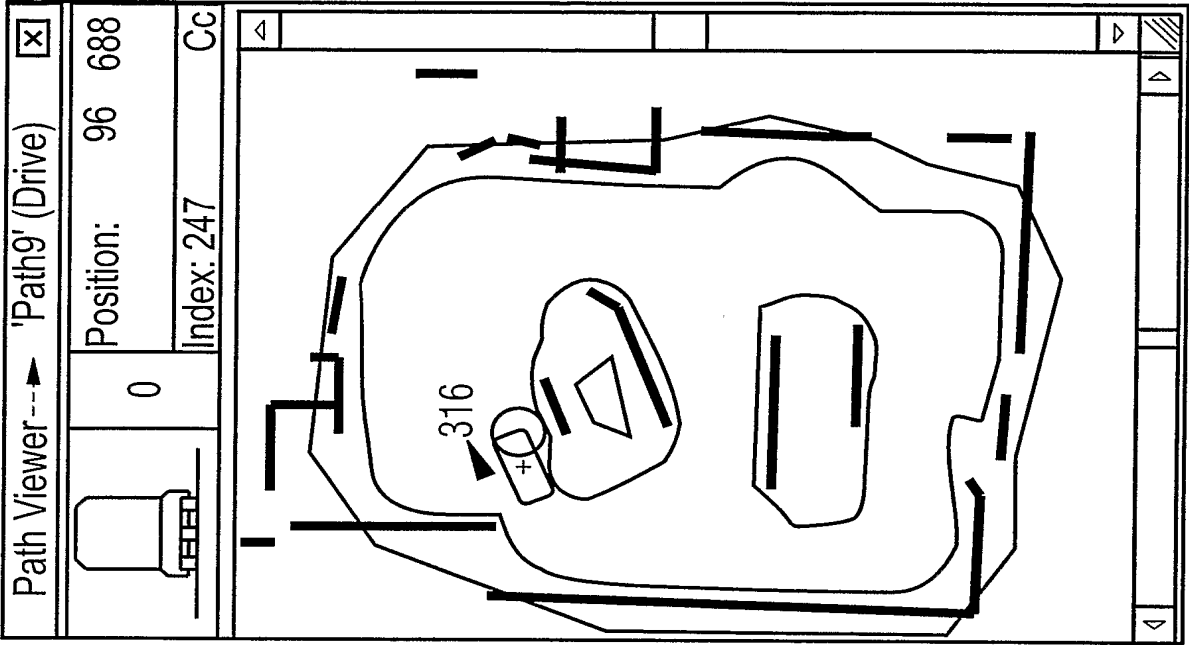


FIG 6a

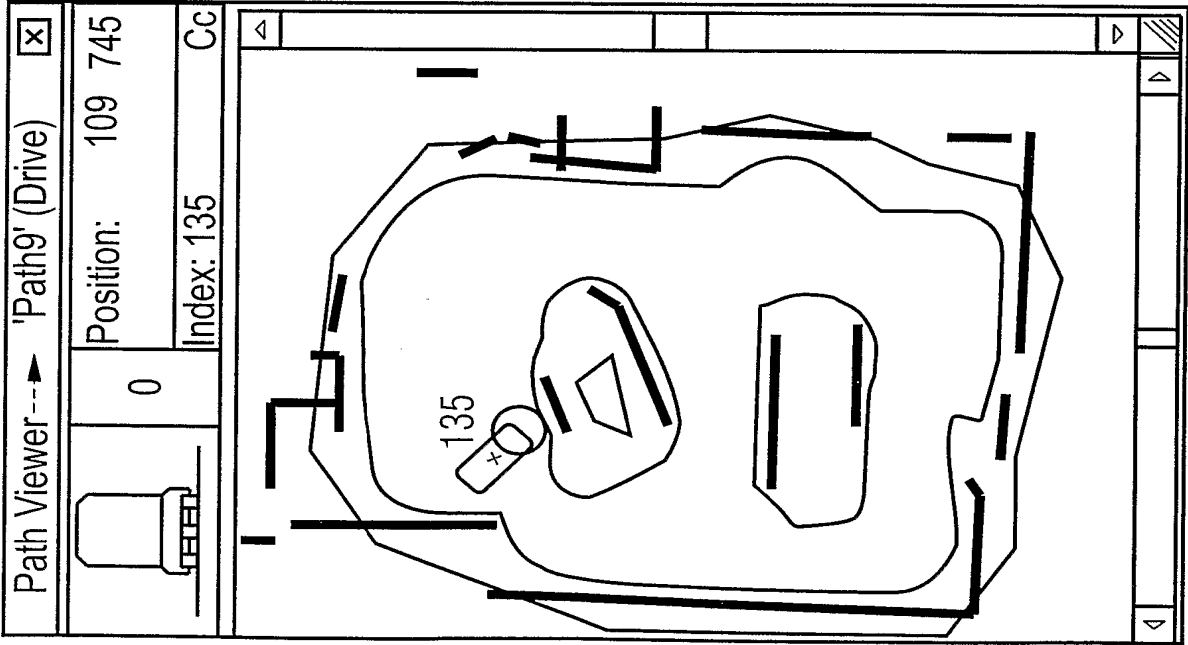


FIG 6d

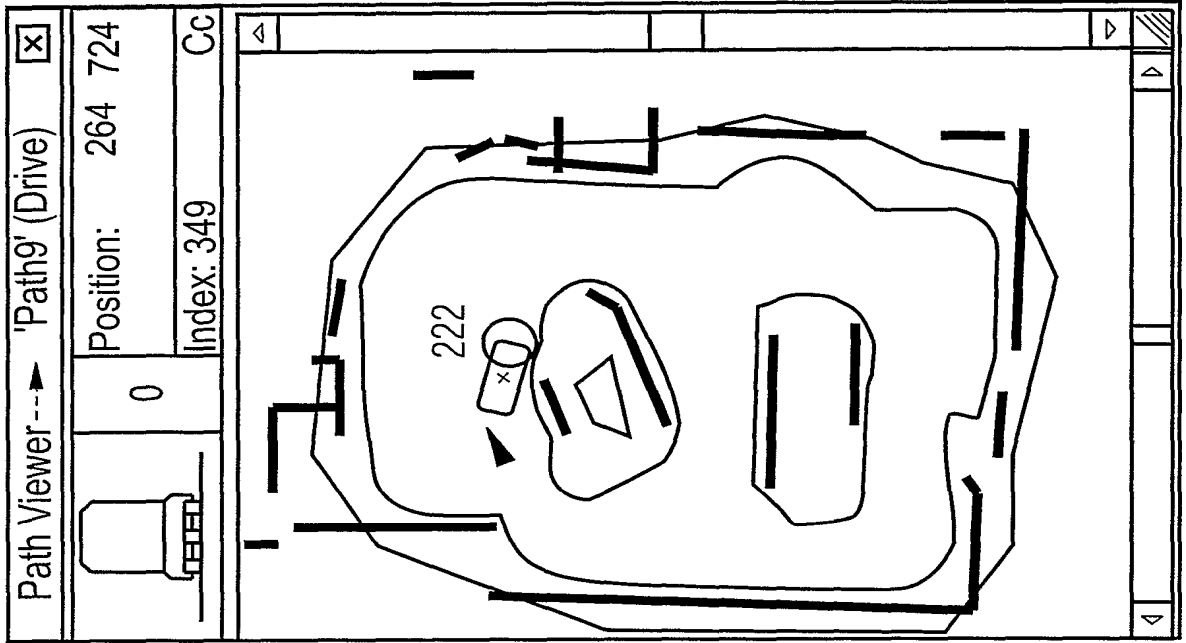


FIG 6c

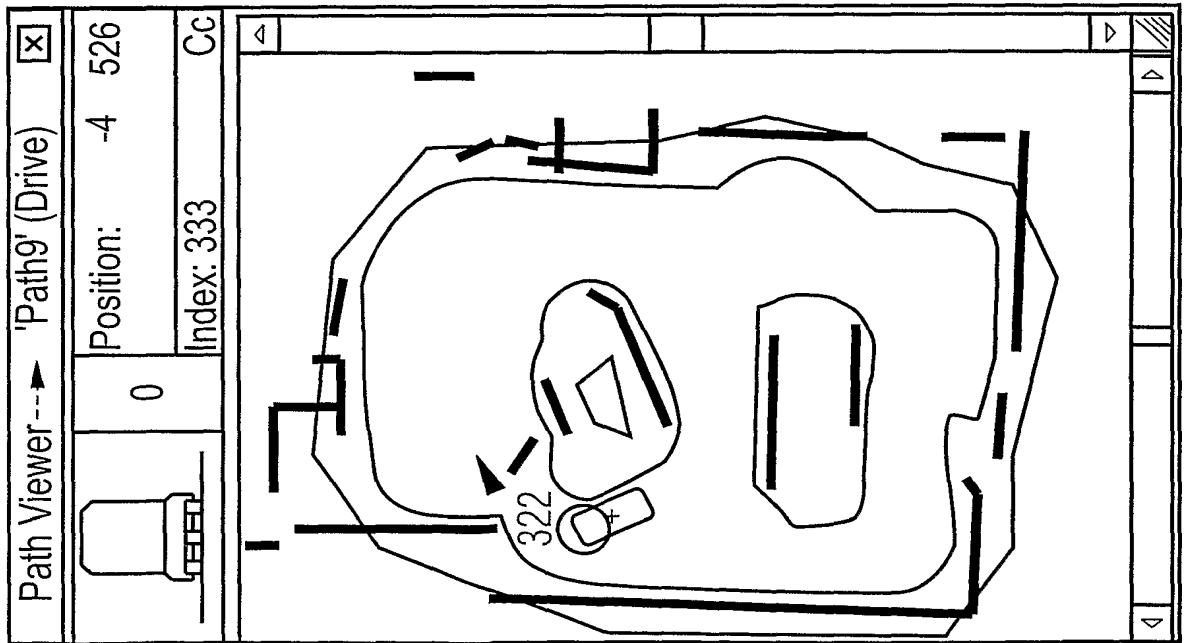


FIG 6e

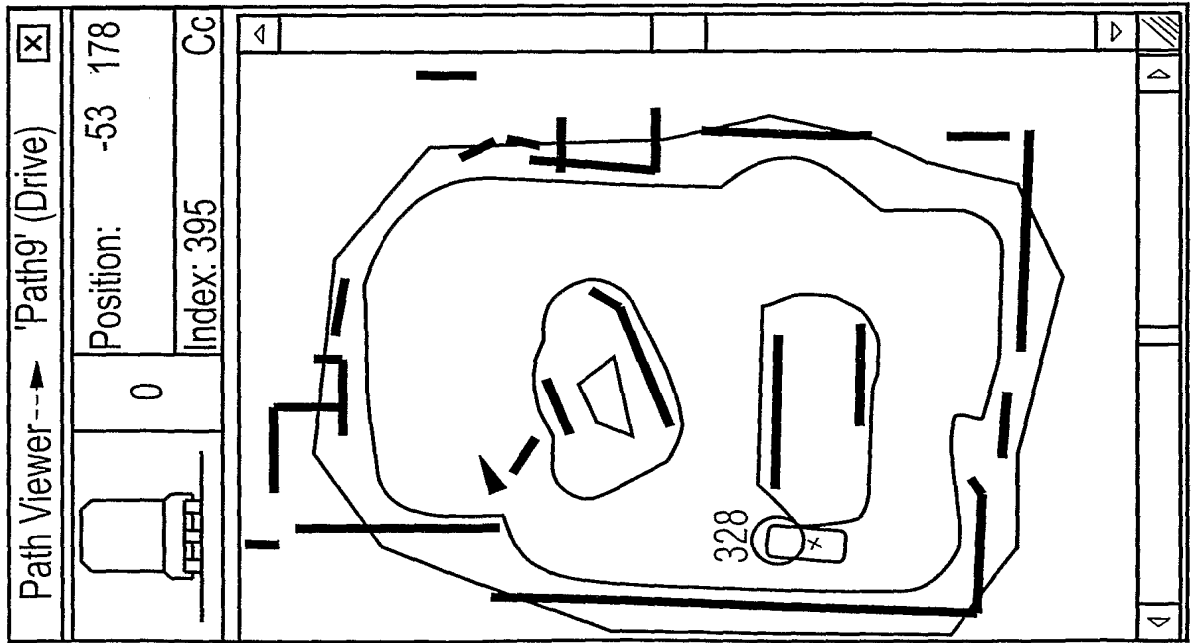
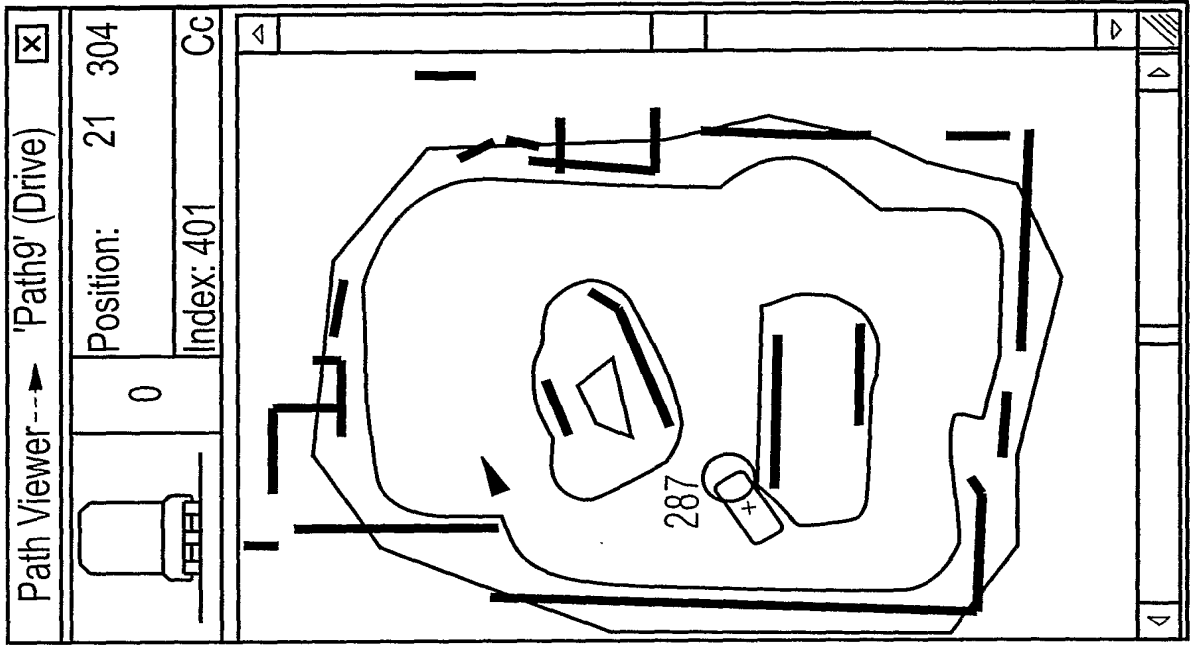


FIG 6f



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02/02851

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G05D1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G05D A01D A47L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>SCHMIDT G ET AL: "An advanced planning and navigation approach for autonomous cleaning robot operations"</p> <p>INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 1998. PROCEEDINGS., 1998 IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON VICTORIA, BC, CANADA 13-17 OCT. 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 13 October 1998 (1998-10-13), pages 1230-1235, XP010311555</p> <p>ISBN: 0-7803-4465-0</p> <p>the whole document</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☐ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 December 2002

Date of mailing of the international search report

19/12/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hasubek, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter al Application No

PCT/DE 02/02851

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>KURABAYASHI D ET AL: "Local path re-planning for unforeseen obstacle avoidance by an autonomous sweeping robot" ROBOTICS AND AUTOMATION, 1998. PROCEEDINGS. 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEUVEN, BELGIUM 16-20 MAY 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 16 May 1998 (1998-05-16), pages 3153-3158, XP010281319 ISBN: 0-7803-4300-X the whole document</p> <p>-----</p>	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter ales Aktenzeichen

PCT/DE 02/02851

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G05D1/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G05D A01D A47L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>SCHMIDT G ET AL: "An advanced planning and navigation approach for autonomous cleaning robot operations"</p> <p>INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 1998.</p> <p>PROCEEDINGS., 1998 IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON VICTORIA, BC, CANADA 13-17 OCT. 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 13. Oktober 1998 (1998-10-13), Seiten 1230-1235, XP010311555</p> <p>ISBN: 0-7803-4465-0</p> <p>das ganze Dokument</p> <p style="text-align: center;">--- -/--</p>	1-15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

* & * Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Dezember 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/12/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hasubek, B

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>KURABAYASHI D ET AL: "Local path re-planning for unforeseen obstacle avoidance by an autonomous sweeping robot" ROBOTICS AND AUTOMATION, 1998. PROCEEDINGS. 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEUVEN, BELGIUM 16-20 MAY 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 16. Mai 1998 (1998-05-16), Seiten 3153-3158, XP010281319 ISBN: 0-7803-4300-X das ganze Dokument -----</p>	1-15